

Поскольку для всех исследованных материалов при переходе от одного вида деформации к другому изменяется только константа γ , для расчета предельных параметров нагружения θ , T_p и σ_v при разных видах деформации необходимо определить только коэффициент γ для данного вида деформации. Для этого достаточно при одной температуре (например, комнатной) и трех t снять кривые $\sigma=f(\epsilon)$, определить из них σ_v (см. рис. 1, в), а затем построить зависимость $\sigma_v=f(\lg t)$. Зная заранее константы материала U_0 , θ_0 и T_p и температуру испытания T , можно рассчитать константу γ по уравнению (2).

Выводы

Показано, что уравнения (1) — (3), описывающие связь между тремя предельными параметрами деформирования аморфных пластмасс θ , T_p и σ_v , установленными ранее для одноосного растяжения, справедливы и для деформации сжатия.

Молекулярные константы этих уравнений одинаковы при сжатии и растяжении. От вида деформации зависит только константа γ , отражающая эффективность действующего напряжения.

Для материалов, сохраняющих свою структуру во всем диапазоне температур (органическое стекло, полистирол, пластикат ПВХ), соотношение $\gamma_{\text{раст}}/\gamma_{\text{сж}} \approx 1.5$. Для материалов с аномальной зависимостью, т. е. изломом кривых $\lg t=f(1/T_p)$ при растяжении (поликарбонат, винипласт) соотношение $\gamma_{\text{раст}}/\gamma_{\text{сж}} \approx 0.7$.

Список литературы

1. Ратнер С. Б., Брохин Ю. И. Температурно-временная зависимость предела вынужденной эластичности полимеров. Доклады АН СССР, 1969, т. 188, № 4, с. 807—810.
2. Ратнер С. Б., Брохин Ю. И., Коробов В. И. и др. Изучение механической долговечности пластмасс. — Сб. «Пластические массы». Труды НИИПластмасс, «Химия», 1970, с. 233—255.
3. Ратнер С. Б., Брохин Ю. И., Бунина Л. О. и др. Термофлуктуационные закономерности деформирования и разрушения пластических масс. — «Пластические массы», 1973, № 7, с. 38—41.

УДК 621.007.52-231.1

Кинематика промышленных роботов

Д-р техн. наук Н. И. КАМЫШНЫЙ и инж. И. И. ПАВЛЕНКО

Промышленные роботы являются одним из новых и перспективных средств автоматизации [1].

Под промышленными роботами (универсальными манипуляторами) подразумевают автоматические устройства с программным управлением, которые при помощи рук обеспечивают захват, пространственное перемещение и ориентирование различных деталей. Основной отличительной особенностью промышленных роботов от других, подобных по назначению устройств является высокая их кинематическая подвижность и наличие программного управления, что позволяет оперативно автоматизировать различные производственные процессы.

Промышленные роботы находят практическое применение во многих странах. Например, в США в 1970 г. в производстве эксплуатировалось около 200 роботов. По прогнозам специалистов США парк роботов к концу XX века [2] должен достигнуть 40—60 тыс.

Практика использования промышленных роботов доказывает, что они могут успешно заменять труд человека, выполняя его работу эффективнее. Наиболее часто роботы применяются для выполнения погрузочно-разгрузочных и транспортных операций при обслуживании металлорежущего, кузнечно-прессового, литейного, термического, сборочного и другого оборудования. Роботы часто применяются для осуществления сложных контурных перемещений исполнительных механизмов, например, сварочной головки при автоматической сварке или pulverизатора для окраски.

Выполнение отмеченных и других операций в значительной мере зависит от кинематики робота, оцениваемой общим количеством степеней свободы движения, их видом (вращательные или поступательные движения относительно различных координатных осей) и их кинематической последовательностью. Помимо этого, кинематику роботов следует разделять на кинематические (структурные) группы, ко-

торые различаются между собой как своим функциональным назначением, так и принадлежностью к определенному исполнительному звену робота.

Кинематическую структуру промышленных роботов можно представить состоящей из трех групп: кинематики основания, кинематики руки и кинематики кисти (захватной головки).

Все степени свободы движения, обеспечивающие возможность перемещения самого робота (подвижность основания), составляют кинематику основания. Как по технологическому назначению, так и по конкретным примерам существующих конструкций роботов считается достаточным, если кинематика основания обладает одной степенью свободы, сообщая роботу рабочие или установочные перемещения.

Степени свободы движения, обеспечивающие пространственное перемещение конца руки с захватом при неподвижном основании робота, составляют кинематику руки робота. На выбор кинематики руки основное влияние оказывают величина и характер требуемых перемещений детали, особенности ее ориентирования при перемещениях и установках. Перемещения детали в пространственно-объемной рабочей зоне возможны уже при наличии трех степеней свободы движения руки. Дальнейшее увеличение количества степеней свободы способствует только улучшению маневренности, не изменяя характера рабочей зоны. Наиболее приемлемыми являются кинематические схемы с различными по виду движения степенями свободы.

Варианты кинематических схем руки робота с тремя различными степенями свободы показаны на рис. 1. Кинематические схемы только с поступательными движениями (рис. 1, а) позволяют манипулировать руке 1 с захватом 2 в объемно-прямоугольной рабочей зоне (рис. 2, а). Такая кинематика целесообразна в том случае, если положение детали до загрузки и после разгрузки находится между роботом и обслуживаемым оборудованием. Кинематические

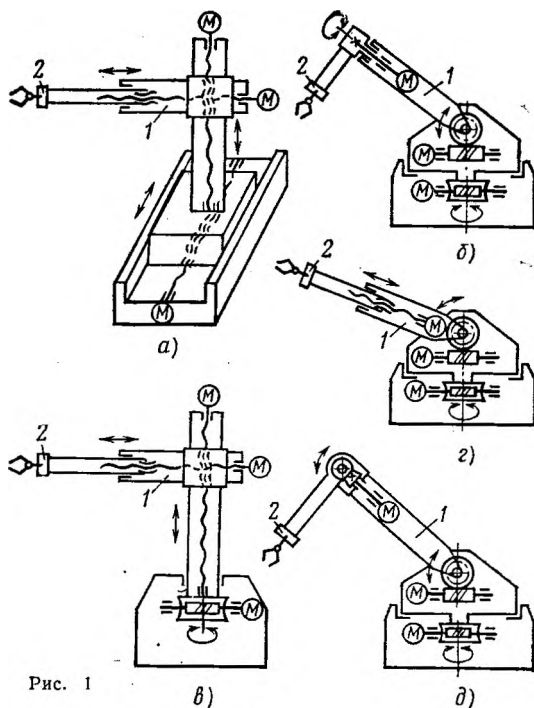


Рис. 1

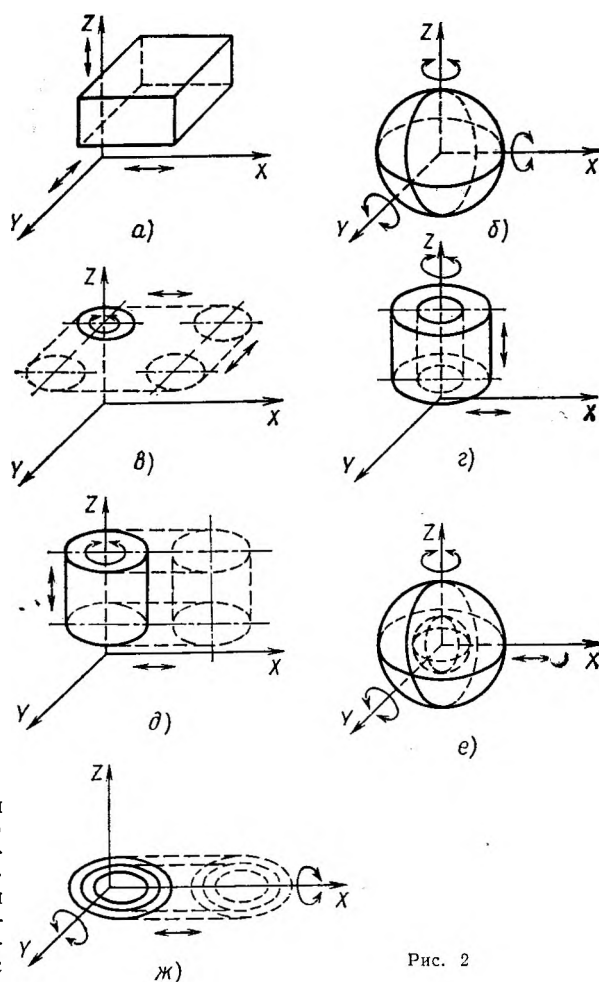


Рис. 2

схемы только с вращательными движениями (рис. 1, б) позволяют руке перемещать изделия по внешнему контуру сферической зоны (рис. 2, б). Невозможность перемещения детали в пространственной зоне ограничивает целесообразность применения таких схем. В данных и последующих схемах принято допущение, что вращательные движения осуществимы в пределах 360° . В кинематических схемах с двумя поступательными и одним вращательным движением (рис. 1, в) захват руки может перемещаться в плоской зоне (рис. 2, в), если движения осуществляются относительно различных координатных осей, что является существенным недостатком таких схем. Во всех других случаях такие схемы обеспечивают перемещение детали в объемно-цилиндрической рабочей зоне с горизонтальной или вертикальной неподвижной (рис. 2, г) или подвижной осью (рис. 2, д).

Существующие конструкции промышленных роботов в основном выполнены на основе таких кинематических схем; например, роботы отечественного производства (конструкции ЭНИМС) и зарубежного, например типа Версатран (рис. 3). Кинематика Версатран позволяет захвату 2 руки 1 перемещаться в горизонтальном и вертикальном направлениях, а также вращаться вокруг вертикальной оси. Все движения исполнительных органов в данном роботе осуществляются от гидравлического привода с дистанционным программным управлением 3. В кинематических схемах с двумя вращательными и одним поступательным движением (рис. 1, г) рука имеет возможность перемещать захват с деталью в объемно-сферической зоне с неподвижной осью сферы (рис. 2, е) или подвижной (рис. 2, ж). Промышленные роботы с такой кинематикой руки также получили значительное распространение (например, роботы типа Юнимэйт — рис. 4). В данном роботе рука 1 с захватом 2 может вращаться вокруг вертикальной и горизонтальной осей и поступательно перемещаться вдоль своей оси от гидравлического привода.

Движение самого захвата осуществляется от пневматического привода, что позволяет роботу работать с заготовками в условиях высоких температур.

Из приведенного анализа следует, что некоторые варианты кинематических схем руки робота с тремя различными по виду движения степенями свободы не представляют практического интереса, так как не обеспечивают перемещения деталей в объемной ра-

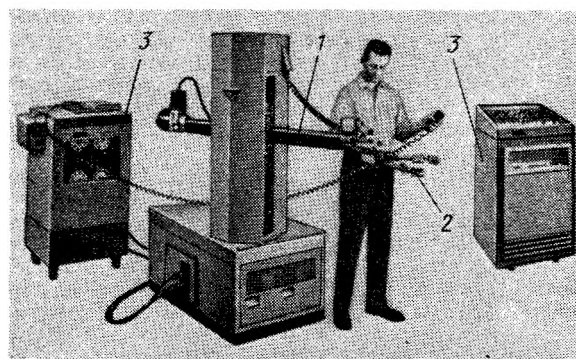


Рис. 3

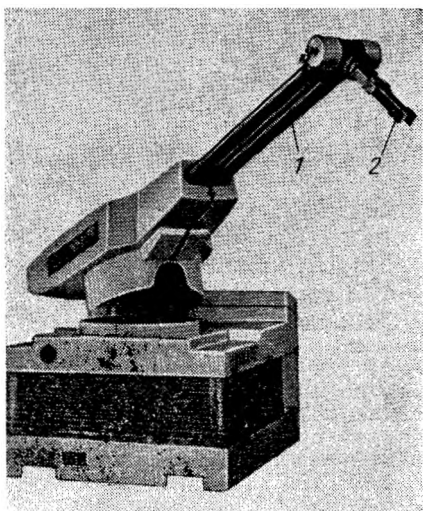


Рис. 4

бочей зоне. Предпочтение следует отдавать кинематическим схемам, обеспечивающим цилиндрические (см. рис. 1, а) или сферические (см. рис. 1, б) объемные рабочие зоны. Такие схемы допускают более высокую универсальность пространственных перемещений, а выполненные на их основе конструкции характеризуются большей компактностью.

Помимо рассмотренных вариантов кинематических схем руки робота с тремя степенями свободы, могут быть и другие варианты, в которых некоторые виды движения повторяются. Из них значительный интерес представляют кинематические схемы с повторяющимися вращательными движениями, например, кинематическая схема (см. рис. 1, д), обеспечивающая объемную сферическую рабочую зону, аналогичную приведенной на рис. 2, е.

Следующим кинематическим звеном робота является кинематика кисти (захватной головки). Все степени свободы движения, которые позволяют изменять ориентацию детали без изменения положения конца руки, следует относить к кинематике кисти. Выбор кинематики кисти в определенной степени зависит от кинематики руки, т. е. от характера перемещения детали с исходного положения в конечное. Перемещение деталей посредством вращательных движений обычно приводит к изменению их угловой ориентации. Таким образом, сколько различных вращательных степеней свободы содержит кинематика руки, столько возможно угловых переориентирований детали при ее пространственном перемещении. Для поддержания неизменного углового положения детали в процессе ее перемещения необходимо, чтобы кисть имела столько же вращательных степеней свободы относительно тех же координатных осей, что и рука. Для роботов с двумя поступательными и одним вращательным движениями руки (см. рис. 1, а) поддержание исходной угловой ориентации детали в конечном положении возможно, если кисть (рис. 5, а) имеет одну степень свободы вращательного движения. Для роботов с одним поступательным и двумя

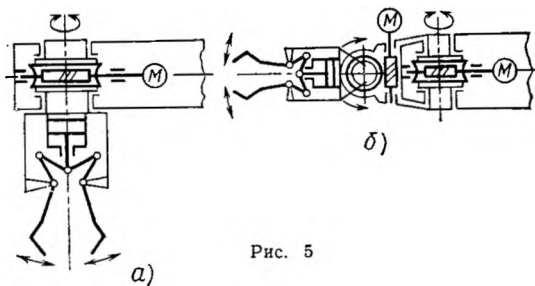


Рис. 5

вращательными движениями (см. рис. 1, б) необходима подвижность кисти руки вокруг двух координатных осей (рис. 5, б).

Кисть руки должна обеспечивать не только сохранение исходной ориентации детали, но и позволять выполнять специальные ее повороты. В большинстве случаев эти движения необходимы для осуществления переустановки детали в технологическом процессе ее обработки или сборки.

Учитывая, что детали на металлорежущем и другом оборудовании в основном устанавливаются с горизонтальным или вертикальным расположением их осей, достаточно универсальной следует считать такую кинематику кисти, которая обладает двумя степенями свободы вращения вокруг этих осей.

Роботы, работающие с неориентированными деталями (с навала), должны иметь кинематику кисти с тремя вращательными степенями свободы. Кисть руки робота обычно содержит привод захватов, который обеспечивает зажим и освобождение деталей. Привод захватов целесообразно не включать в общее количество степеней свободы движения роботов, так как он не обеспечивает изменения пространственного положения или ориентирования детали и может иметь как механическое, так и немеханическое (вакуумное, электромагнитное и др.) исполнение.

Таким образом, кинематическую структуру промышленных роботов можно оценивать следующей структурной формулой: $p = p_0 + p_r + p_k$, где p — общее количество степеней свободы движения робота; p_0 , p_r , p_k — соответственно количество степеней свободы, кинематики основания, руки и кисти.

Следует считать, что достаточно универсальными будут такие роботы, которые имеют 5—7 степеней свободы движения со следующим структурным распределением их по кинематическим группам: $5+7 = (0+1)_0 + 3_r + (2+3)_k$.

Следовательно, к универсальным промышленным роботам могут быть отнесены роботы как стационарного, так и подвижного исполнения, с тремя степенями свободы движения руки и двумя-тремя степенями свободы движения кисти. Промышленные роботы с меньшим количеством степеней свободы обычно являются роботами специального или специализированного назначения. Роботы с большим количеством степеней свободы будут особо универсальными высокоманевренными.

Список литературы

1. Кобринский А. Е. Вот они — роботы. М., «Наука», 1972. 175 с.
2. The robots are getting more know-how. «Canadian Machinery and Metalworking», 1970, v. 81, N 10, p. 62—64.